

## 不同栽培密度下白首乌干物质积累和分配规律的研究

张 锋<sup>1,2</sup>, 王建华<sup>1\*</sup>, 余松烈<sup>1</sup>, 陈雨海<sup>1</sup>, 董庆裕<sup>1</sup>

(1. 山东农业大学 药用植物研究室, 山东 泰安 271018; 2. 山东省农业科学院原子能农业应用研究所, 山东 济南 250100)

**摘要:**目的 了解栽培密度对白首乌块根产量和品质的影响, 确定其最适合栽培密度。方法 在大田条件下, 探讨不同栽培密度(A 60 000、B 90 000、C 120 000、D 150 000 株/hm<sup>2</sup>)与白首乌的光合特性、干物质积累分配、产量及活性成分量之间的关系。结果 4 种栽培密度下白首乌个体块根干物质积累动态的拟合均呈 Logistic 曲线变化。不同密度处理单株块根干质量增加速率为 A>B>C>D, 而单位面积块根干质量增加速率 C>D>B>A。处理 D 的光合速率在块根膨大关键时期显著低于其他各处理, 可能是处理 D 个体块根产量低的原因。密度对块根中部分有效成分的量也有显著影响, 其中多糖和黄酮量随密度的增加而增加, 但 C<sub>21</sub> 甾苷量与密度无显著关系。结论 密度对白首乌产量性状影响较大, 但在群体和个体上表现不同, 与个体块根产量呈负相关, 与群体根的生物产量呈正相关。综合考虑块根产量与活性成分量两个方面, 处理 C 为最佳种植密度。

关键词: 白首乌; 栽培密度; 产量; 活性成分

中图分类号: R282.2 文献标识码: A 文章编号: 0253-2670(2006)10-1158-04

Effect of various planting densities on accumulation and distribution of *Cynanchum bungei* dry matterZHANG Feng<sup>1,2</sup>, WANG Jian-hua<sup>1</sup>, YU Song-lie<sup>1</sup>, CHEN Yu-hai<sup>1</sup>, DONG Qing-yu<sup>1</sup>

(1. Medicinal Plant Laboratory in Shandong Agricultural University, Taian 271018, China; 2. Research Institute of Applied Atomic Energy of Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

**Abstract: Objective** In order to find out the effect of planting density on the yield and quality and determine the optimal planting density for *Cynanchum bungei* root tuber. **Methods** Under the condition of field outside, to discuss the relationship between planting density (A: 60 000; B 90 000; C 120 000; D 150 000 plants/hm<sup>2</sup>) and *C. bungei* root tuber yield, accumulation, and distribution of dry matter, effective components, and its characteristic of photosynthesis, relatively. **Results** Dry matter accumulation of single root tuber accorded with logistic curve under the conditions of four treatments. The accumulative rate of single root tuber is A>B>C>D among different treatments. However, the accumulative rate of colony yield is C>D>B>A. At root tuber thickening stage photosynthesis of treatment D is distinctly lower than other treatments, which was the main reason of the low yield of D treatment perhaps. Density also has effect on effective components, which related with polysaccharides and flavonoids positively and had no notable relation with C<sub>21</sub> steroid glycosides. **Conclusion** Density has great effect on yield of root tuber, but its exhibition on colony and individual plant is different. It was shown that there was a negative correlation between the individual yield and density, while a positive correlation between the colony yield and density. According to the dry weight of root tuber and effective components content, treatment C is the best planting density.

Key words: *Cynanchum bungei* Decne.; planting density; yield; active components

白首乌是我国的传统中药, 一般认为其主要来源为萝藦科鹅绒藤属几种植物的块根。《中国药典》1977 年第 2 卷记载, 戟叶牛皮消 *Cynanchum bungei* Decne. 为白首乌正品。有“养血益肝、固肾益精、乌

须黑发和延年益寿”的功效。白首乌主要活性成分有 C<sub>21</sub> 甾苷、多糖和黄酮等<sup>[1-3]</sup>, 具有抑制肿瘤、调节和增强免疫的作用, 有丰富的营养和医疗保健价值。近年来在山东泰安及其周围地区种植面积不断扩大,

收稿日期: 2006-01-23

基金项目: 山东省优秀中青年科学家奖励基金(03BS049)

作者简介: 张 锋(1979-), 女, 山东曲阜人, 博士研究生, 从事药用植物栽培生理研究。

\* 通讯作者 王建华 E-mail: jhwangjh@163.com

但由于白首乌人工栽培时间较短,栽培技术仍不完善,生产仍多按传统经验进行。

植物的生物学产量和活性成分积累主要来源于光合作用,光合产物积累、运输和分配与产量构成有极其密切的关系<sup>[4-9]</sup>。为建立白首乌良好的群体结构,更好地利用资源,提高物质积累分配效率,本实验以白首乌为材料,对白首乌不同种植密度下干物质积累、分配和产量、活性成分进行了研究,确定最适宜的栽植密度,并从白首乌的光合特性角度探讨了密度对产量形成影响的生理机制,为进一步提高品质、效益和开展规范化生产提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料:供试材料为戟叶牛皮消,试验于 2002—2003 年在山东泰安市岱岳区大汶口镇进行。试验共设 4 个处理组,基本苗分别为 60 000、90 000、120 000、150 000 株/hm<sup>2</sup>。行距均为 0.4 m,株距分别为 0.4、0.28、0.21、0.17 m,编号为 A、B、C、D,重复 3 次,随机排列。试验地为砂壤土,4 个处理土壤理化性质基本一致:有机质 1.31%、水解氮 67.16 mg/kg、速效磷 32.64 mg/kg、速效钾 60.16 mg/kg。2002 年 4 月初育苗,5 月 5 日移栽至大田,进行常规管理。

1.2 测定项目和方法

1.2.1 干物质积累:从 2003 年 5 月 5 日~11 月 5 日,根据不同生育时期植株个体大小的不同,每 15 d 取 5~10 株,70 °C 烘干至恒重。

1.2.2 光合速率测定:使用美国产 LI-6400 型光合测定系统,选典型晴天随机取 10~15 片生长一致功能叶进行测定,时间在 9:00~11:00。

1.2.3 产量、经济系数和折干率:在 2003 年 11 月 5 日收获块根,每个处理收获面积为 3.2 m×2 m。收获后洗净泥土,烘干称质量。膨大块根的质量(g)与全部根质量(g)之比为经济系数;干质量(g)与鲜质量(g)之比为折干率。

1.2.4 活性成分的测定:白首乌 C<sub>21</sub>甾苷测定方法参照付文焕方法<sup>[10]</sup>;白首乌多糖测定方法参照高丽君方法<sup>[11]</sup>;白首乌黄酮测定方法参照张锋方法<sup>[12]</sup>。

1.2.5 数据分析:数据和图表采用 DPS 和 origin 6.0 数据处理系统分析。

2 结果与分析

2.1 不同密度下白首乌块根积累动态:试验结果表明(图 1),白首乌不同密度单株块根积累的动态变化呈“S”型曲线变化,可用 Logistic 方程拟合,相关系数(r)达到极显著水平,说明拟合程度较好,符合

实际情况。从图 1 还可看出,白首乌块根干物质积累变化总趋势基本一致,物质积累随生育进程而增加。在不同密度处理下,在生长前期,即 7 月份之前,4 种处理块根干物质增加缓慢且处理间无明显差异,随着生育期的推进密度对单株块根干物质积累逐渐产生影响,但处理 A、B、C 之间单株块根干物质积累差异不明显,当种植密度达到 150 000 株/hm(处理 D)时,单株块根干物质积累开始受密度的影响,尤其是在块根膨大关键时期,积累比其他处理明显缓慢。单株块根积累的变化总趋势是 A>B>C>D,所以,最终块根单株产量 A>B>C>D,且处理 D 显著低于另 3 个处理。

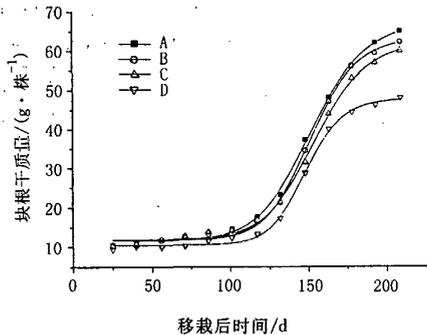


图 1 不同密度条件下单株白首乌块根积累动态  
Fig. 1 Accumulative dynamics of single *C. bungei* root tuber in different planting densities

2.2 白首乌块根的膨大速率:块根膨大速率是表示块根膨大快慢的主要指标。从图 2 可以看出,出苗 15~90 d,各处理块根膨大速率均较低,在 0.2 g/(d·株)以下;出苗 90~150 d 各处理的膨大速率都保持在较高的水平,可达 0.5 g/(d·株)以上;出苗 150 d 后增长缓慢,并随生长期的增加增长逐渐减少,到 180 d 后生长基本停止,地下块根越冬。由此可见,块根干物质的增重在白首乌生长前期较低,90 d 以后增重明显,90~150 d 是白首乌增重的关键时期。

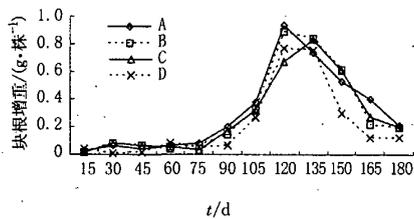


图 2 不同密度条件下白首乌块根膨大速率  
Fig. 2 Inflating rate of *C. bungei* root tuber in different planting densities

不同密度处理条件下,处理 A、B、C 块根膨大速率全生育期内变化趋势基本一致,处理 D 的块根膨

大速率在绝大多数时段内都低于其他 3 个处理,尤其在后期,这种差异更加明显,这与块根积累动态拟合曲线结论一致。

2.3 植株各器官干物质积累与分配动态:在不同密度处理下,白首乌各器官干物质积累变化总趋势基本一致,茎叶、果实和总干物质积累呈单峰曲线变化。干物质在各器官的分配随生长中心的转移而发生变化,从表 1 结果可以看出:苗期,运往根部的同化物量小于输出量;在营养生长期,大部分同化物供茎和叶片的生长,其干重在花果初期达到最大;果实增重主要集中在 8 月份,至花果期末基本停止;地下

部在块根膨大期增长迅速,此时期同化物质 95% 以上运输到地下,全部根产量的 50% 以上在这个时期形成,在植株枯萎时块根仍有一部分积累,这是营养物质由茎叶向地下转移的结果。

就处理间差异而言,由于密度递增对个体后期生长的制约作用,密度增加使各器官干质量呈现规律性递减变化。从不同处理间干物质分配比例可以看出,茎叶和果实的干物质分配比例基本相似。但是,在块根膨大期,块根干物质分配比例随密度的增加而下降,这个时期分配比例的不同最终表现在了个体产量的差异上。

表 1 在不同密度下不同生育时期各器官干物质的积累与分配

Table 1 Dry matter accumulation and proportion of various organs of *C. bungei* root tuber at different development stages in different planting densities

器官	处理	苗期		营养生长期		花果期		块根膨大期		枯萎期	
		/(g·株 <sup>-1</sup> )	/%	/(g·株 <sup>-1</sup> )	/%	/(g·株 <sup>-1</sup> )	/%	/(g·株 <sup>-1</sup> )	/%	/(g·株 <sup>-1</sup> )	/%
茎叶	A	9.01	123.0	20.14	77.8	2.01	6.9	-2.95	-7.5	-2.32	-105.9
	B	9.29	128.0	19.46	76.8	1.95	7.3	-2.52	-5.7	-2.01	-91.4
	C	9.47	124.8	18.86	76.7	1.41	5.5	-1.29	-3.5	-1.85	-97.4
	D	8.95	116.1	18.19	77.7	1.40	5.9	-1.05	-3.4	-1.61	111.3
根	A	-1.69	-23.0	2.73	10.5	8.69	29.8	38.92	98.4	4.10	187.2
	B	-2.03	-28.0	2.54	10.0	7.04	26.3	38.39	97.3	3.84	175.5
	C	-1.88	-24.8	2.25	9.2	7.35	28.6	35.67	96.2	3.46	182.1
	D	-1.55	-16.1	2.17	9.3	5.92	24.7	29.11	95.6	2.84	195.8
果实	A			3.05	11.8	18.46	63.3	3.57	9.0	0.41	18.7
	B			3.33	13.1	18.16	67.8	3.59	9.1	0.37	16.8
	C			3.48	14.1	17.25	67.0	2.68	7.2	0.29	15.3
	D			3.04	13.0	16.58	69.4	2.39	7.8	0.22	15.2
干物质积累总量	A	7.32	100	25.92	100	29.14	100	39.54	100	2.19	100
	B	7.26	100	25.33	100	26.79	100	39.46	100	2.20	100
	C	7.59	100	24.59	100	25.74	100	37.06	100	1.90	100
	D	7.40	100	23.40	100	23.9	100	30.45	100	1.45	100

根据白首乌形态特征将整个生育时期大体划分为 5 个时期,分别为苗期:5 月初~6 月初;营养生长期:6 月初~7 月中旬;花果期:7 月中旬~9 月初;块根膨大期:9 月初~10 月中旬;枯萎期:10 月中旬~11 月中旬

Whole growth period was divided into five stages, seeding stage: May to Jun.; vegetative growth stage: Jun. to middle ten days of Jul.; blossom and fructification stage: middle ten days of Jul. to Sep.; root tuber thickening stage: beginning of Sep. to middle ten days of Oct.; perishing stage: middle ten days of Oct. to middle ten days of Nov.

2.4 不同密度处理对块根产量和活性成分的影响:栽培密度对白首乌产量有很大影响,虽然单株产量随种植密度的增加而减小,但从表 2 可以看出,单位面积产量随种植密度的增加有增加趋势。当种植密度在 60 000~120 000 株/hm<sup>2</sup>,各密度条件下的块根产量差异达到极显著水平,处理 C 产量最高,最低依次为 C>D>B>A。经济系数处理 D 和其他处理相比存在显著差异,这是处理 D 块根产量低于处理 C 的主要原因。

另外,栽培密度对块根活性成分的量也有一定影响,块根中多糖的量与种植密度成正比,与块根产量成反比,处理 A 与其他处理差异达到显著水平;黄酮与多糖的量变化规律相似,处理 C 和 D 与处理

表 2 不同密度条件下块根的产量与活性成分的量

Table 2 Yield and contents of active constituents in *C. bungei* root tuber at different planting densities

处理	块根产量 /(kg·hm <sup>-2</sup> )	经济系数 /%	多糖含量 /(mg·g <sup>-1</sup> )	黄酮含量 /(mg·g <sup>-1</sup> )	C <sub>21</sub> 甾苷 (吸光度)
A	957.6Dd	0.708Aa	1.149Bc	0.275Bbc	0.345Aab
B	1371.2Cc	0.707Aab	1.151ABb	0.276Bb	0.345Aab
C	1766.4Aa	0.707Ab	1.152Aab	0.286Aab	0.345Aab
D	1761.8Bb	0.705Bc	1.153Aa	0.287Aa	0.346Aa

同一列中大写字母表示 0.01 水平下差异显著性;小写字母表示 0.05 水平下差异显著性,具有相同字母的数值间差异不显著

Means; in same column followed by different capital letters are very significantly different ( $P < 0.01$ ); followed by different small letters are significantly different ( $P < 0.05$ ); while followed by same letters show no significant differences

A 和 B 之间存在显著差异;但种植密度对白首乌中的主要活性成分  $C_{21}$  甾苷的量无明显影响。

### 3 讨论

白首乌块根的生长发育受控于不同生育时期光合产物的运输分配。因此产量的高低与叶片的光合性能关系密切,光合作用反映了植物生产干物质的能力,因此光合作用基本上可以用来衡量白首乌产量形成的能力。本实验条件下,白首乌光合速率前期随生育期的推进而增大,达到高峰后又减少。就不同密度处理对白首乌叶片的光合速率影响来看,苗期行株间尚有足够的空间,可供白首乌地上部特别是叶片的生长发育,因而密度对苗期单株光合的影响不显著。随着茎的不断伸长和新生叶片不断产生,株间空间逐渐减少,单株光合和植株的继续生长受到抑制,并随着密度的增加,这种抑制作用就愈加明显。结果表明,白首乌个体的光合能力随种植密度的增加而降低,尤其在后期表现更加明显。因此确立合理的种植密度,并加强苗期和营养生长时期的管理,使其形成良好的群体结构,长时间维持叶片旺盛的生理功能,是提高白首乌产量的关键。

白首乌单株块根干物质积累呈 Logistic 曲线变化,其中 9~11 月是直线增长时期。4 种栽培密度对个体干物质积累以及个体块根质量、块根产量影响显著。在单株茎叶质量、根鲜质量和干质量、功能叶光合特性等方面,密度 A、B 处理的植株生长发育显示了一定的优势。表明栽培密度越小,越有利于植株个体的生长发育。从总生物产量上来看,处理 C、D 显著高于 A、B,并且表现出明显的正相关关系,说明在本试验范围内,随栽培密度增加,群体发育越快,处理 D 虽总根量最大,但块根产量以处理 C 为最高。可见,密度过大或过小对高产都是不利的。小群体个体发育较好,但群体小,无法形成高产,大群体群体生长势强,但个体发育较小群体弱,尤其在后期块根膨大时期表现更突出。另外,小群体虽然个体发育较好,但块根中某些活性成分的量较大群体有显著低的现象,因此,确定适宜种植密度要考虑活性成分的量 and 产量两个方面。处理 C 块根产量最高,处理 D 活性成分的量最高,但 C、D 两个处理活性成

分的量差异不显著,尤其是白首乌的主要活性成分  $C_{21}$  甾苷的量无差异。为了获得最大经济效益,因此,在实际生产中可以应用行距 0.4 m、株距 0.21 m, 120 000 株/hm<sup>2</sup> 的种植方法。

### References:

- [1] Zhang R S, Ye Y P, Liu X L. Studies on *in vitro* antitumor activity of total steroidal glycoside from the root of *Cynanchum auriculatum* [J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2000, 31(8): 599-601.
- [2] Zhang R S, Ye Y P, Shen Y M. Studies on the cytotoxic constituents of *Cynanchum auriculatum* Royle ex Wight [J]. *Acta Pharm Sin* (药学报), 2000, 35(6): 431-437.
- [3] Warashina T, Noro T. Steroidal glycosides from the root of *Cynanchum caudatum* [J]. *Phytochemistry*, 1997, 44: 917.
- [4] Zhang M, Zhong G Y, Wang D L, et al. Study on cultivation density and utilization level of base fertilizer of *Pihellia terhata*. [J]. *Res Pract Chin Med* (现代中药研究与实践), 2003, 17(4): 23-25.
- [5] Liu W T, Liang Z S. Effect of planting density on active constituents and output of *Salvia miltiorrhiza* Bunge [J]. *Res Pract Chin Med* (现代中药研究与实践), 2003, 17(4): 14-17.
- [6] Zhang C Y, Li P, Wang F Q, et al. Studies on relationship between growth of *Lonicerae japonica* and their quality of crude drug at different tree ages [J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2004, 35(2): 195-197.
- [7] Shi C Y, Wang Z L, Yu S L. Changes of ATPase activity, ATP and ABA content in storage roots during storage root thickening of sweet potato [J]. *Acta Bot Boreal-occident Sin* (西北植物学报), 2002, 22(2): 315-320.
- [8] Zhao H J, Zhou Q, Guo T C, et al. Regulating effects of density and top dressing time of nitrogen on characteristics of radiation transmission and photosynthesis in canopy of massive-spike winter wheat variety L906 [J]. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2002, 28(2): 270-277.
- [9] Wang J C, Xu Y L, Duan H J. Study on the regularity of dry-matter accumulation, distribution, and translation with various densities in sunflower [J]. *Chin J Oil Crop Sci* (中国油料作物学报), 2002, 24(2): 32-36.
- [10] Fu W H. Study of *Cynanchum bungei*'s Chemistry Collator and Medicinal Materials' Quality Standard [A]. *Doctor Dissertation of Beijing University of Traditional Chinese Medicine* (北京中医药大学博士论文) [D]. Beijing: Beijing University of Traditional Chinese Medicine, 2003.
- [11] Gao L J, Wang H Z, Song Z Q, et al. Measuring the content of polysaccharides in radix of *Cynanchum bungei* Decne. by the method of phenol-vitriol [J]. *J Shandong Agric Univ: Nat Sci* (山东农业大学学报:自然科学版), 2004, 35(2): 295-298.
- [12] Zhang F, Wang J H, Yu S L, et al. Studies on the extraction technology of flavonoids from radix of *Cynanchum bungei* [J]. *Transact Chin Soc Agric Eng* (农业工程学报), 2004, 20(Suppl): 249-251.